

Publication 1827F



Réduction des mycotoxines dans les aliments destinés aux animaux

Canada

Réduction des mycotoxines dans les aliments destinés aux animaux

H.L. Trenholm et D.B. Prelusky
Centre de recherches zootechniques
Ottawa, (Ont.)

J.C. Young et J.D. Miller
Centre de recherches phytotechniques
Ottawa, (Ont.)

Les recommandations de la présente publication sur l'usage des pesticides ou de médicaments pour animaux ne sont données qu'à titre d'indication. Toute application d'un pesticide doit être conforme au mode d'emploi inscrit sur l'étiquette du produit, comme le prescrit la *Loi sur les produits antiparasitaires*. **Il faut toujours lire l'étiquette**. Un pesticide doit aussi être recommandé par les autorités provinciales. Les modes d'emploi recommandés pouvant varier d'une province à l'autre, consulter le représentant agricole de la province pour obtenir des conseils particuliers.

Agriculture Canada Publication 1827F
On peut en obtenir des exemplaires à la
Direction générale des communications
Agriculture Canada, Ottawa K1A 0C7

No de cat. A63-1827/1988F ISBN: 0-662-95094-1
Impression 1988 3,5M-10:88

Also available in English under the title:
Reducing mycotoxins in animal feeds

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE

Les mycotoxines sont des substances chimiques produites par les moisissures qui infectent les plantes cultivées dans les champs ainsi que les céréales et les aliments pour animaux au cours de l'entreposage, du mélange et de la livraison des produits. La contamination des produits de céréales par les mycotoxines menace sérieusement la viabilité économique de la production céréalière et de l'élevage en diminuant le rendement des récoltes et en altérant la santé et la productivité du bétail et de la volaille. En outre, les consommateurs s'inquiètent de la présence de résidus toxiques dans les produits de céréales et de viande. Le problème des mycotoxines ne se limite pas au Canada: des poussées ont été enregistrées dans beaucoup de pays. Les chercheurs attachés au programme d'étude des mycotoxines d'Agriculture Canada ont pour mission d'informer l'industrie agro-alimentaire des plus récents acquis de la recherche sur les mycotoxines.

En 1982, MM. Trenholm, Friend, Hamilton et Thompson ont rédigé la publication n° 1745 d'Agriculture Canada intitulée *Vomitoxine et zéaralénone dans les aliments du bétail.* Le grand succès qu'a connu cette publication reflète bien l'intérêt que soulève cette question. Au cours des 5 dernières années, le document a été réimprimé à deux reprises, en anglais et en français, le tirage total se chiffrant à 16 000 exemplaires. Pendant ce temps, MM. Scott, Trenholm et Sutton ont publié, à l'intention de la communauté scientifique, une monographie du Conseil national de recherches du Canada intitulée *Les mycotoxines: perspectives canadiennes*[1], qui a fait l'objet elle aussi d'une forte demande.

Le présent bulletin a d'abord été publié avec le *Compte rendu de la 23e Conférence annuelle des producteurs d'aliments pour animaux* portant sur la nutrition (Annual Nutrition Conference for Feed Manufacturers), parrainée conjointement par l'Université de Guelph et l'Association canadienne des industries de l'alimentation animale et qui a eu lieu à Toronto les 28 et 29 avril 1987. En raison des conséquences graves que peuvent entraîner l'infection des produits de céréales par les moisissures et leur contamination par les mycotoxines, les auteurs ont considérablement modifié le contenu du compte rendu de la conférence de manière à présenter aux producteurs, aux manipulateurs de céréales et aux minotiers les

connaissances acquises à ce jour sur les infections par les moisissures, sur la production de mycotoxines et sur les moyens efficaces de prévention de la contamination et de détoxication des céréales contaminées par les mycotoxines. On y trouvera des lignes directrices sur la façon de manipuler sans danger les produits de céréales contaminés par les mycotoxines. Veuillez nous faire part de vos commentaires ou suggestions.

Le Directeur du
Centre de recherches
phytotechniques,
W. Baier

Le Directeur du
Centre de recherches
zootechniques,
E.E. Lister

INTRODUCTION

Les mycotoxines sont des substances chimiques toxiques produites par les moisissures. Au Canada, les mycotoxines les plus importantes sont la zéaralénone, une famille de substances chimiques apparentées et appelées trichothécènes (vomitoxine, toxine T-2 et toxine HT-2), l'ochratoxine et les alcaloïdes de l'ergot[1]. Les effets toxiques des mycotoxines sont décrits brièvement dans le tableau 1. L'aflatoxine ne cause pas de dommages importants au Canada, sauf dans le cas des grains importés de pays chauds.

Les moisissures du genre *Fusarium* suscitent une inquiétude particulière dans l'est du Canada. La contamination par le désoxynivalénol (DON) et la zéaralénone a souvent été liée à une croissance réduite, à des problèmes de reproduction et à la maladie chez les animaux d'élevage, particulièrement chez le porc. On soupçonne fortement que d'autres métabolites toxiques dont on ignore la composition affectent le rendement et la santé des animaux d'élevage[2]. Bien qu'il soit difficile d'évaluer précisément les pertes de revenus encourues par les producteurs de céréales ainsi que les maladies et la mortalité qu'entraînent les mycotoxines chez le bétail et la volaille, on peut conclure, à partir de l'étendue des infections par les moisissures et de la contamination par les mycotoxines, que les pertes économiques sont de l'ordre de plusieurs millions de dollars[3].

CYCLE VITAL DES MOISISSURES DU *FUSARIUM*

Le champignon associé à la fusariose des épis de maïs et de blé est le *F. graminearum*. Les débris végétaux des plantes hôtes, par exemple de vieux pieds, épis et chaumes de maïs ou des débris de blé et d'autres céréales à petits grains abandonnés sur place après la récolte constituent la principale source d'inoculum du *F. graminearum*. Les problèmes qu'entraînent les affections fongiques peuvent devenir plus aigus si l'on pratique une culture sans labour ou avec labour minimum. Le labourage des débris végétaux et du résidu des récoltes laissé dans les champs favorise la décomposition de la matière végétale moisie. Les épis de maïs laissés dans les champs après la moisson constituent les principaux sites de reproduction des *Nitidulidae* du genre *Glischrochilus* (*picnic beetle*). La pyrale du maïs peut survivre tout l'hiver dans les tiges, les épis et les chaumes de maïs laissés en surface. La rotation des cultures de maïs permet d'empêcher l'infestation des racines par des vers[4,5]. Le chiendent, le pied-de-coq et autres mauvaises herbes infectés peuvent aussi constituer des sources d'infection par le *Fusarium*. Les graines de blé et de maïs infectées peuvent donner naissance à des semis malades. Au moment de l'épiaison, les champs de blé et d'orge infectés peuvent

Tableau 1 Effets toxiques des mycotoxines

Mycotoxines	Signes cliniques[a]
Zéaralénone	Vulve rouge et enflée, prolapsus du vagin et parfois du rectum chez le porc; les porcelets non sevrés peuvent présenter un grossissement de la vulve; troubles de la fécondité.
Vomitoxine (désoxyni-valénol, DON)	Diminution de la consommation alimentaire et du croît chez le porc à une dose $\geq$2 mg DON/kg d'ali-ments; vomissements et inappé-tence à de hautes concentrations de DON ($\geq$20 mg DON/kg d'aliments).
Autres trichothécènes • toxine T-2 • toxine HT-2 • diacétoxyscirpénol	Plus toxique que le DON; consommation alimentaire réduite; vomissements; irritation cutanée et gastro-intestinale;neurotoxicité; progéniture anormale; plus grande réceptivité à la maladie; hémorragies.
Ochratoxine	S'attaque principalement aux tubules proximaux des reins chez le porc et la volaille; reins pâles et hypertrophiés; foie gras chez la volaille.
Alcaloïdes de l'ergot	Troubles neurologiques; tremblements; convulsions; diarrhée; nécrose des extrémités (gangrène); diminution de la consommation alimentaire; avortement spontané; petits mort-nés et agalactie (faible sécrétion lactée); noircissement de la crête, des doigts et du bec chez la volaille.

[a] mg/kg = partie par million (ppm).

constituer une source d'inoculum pour le maïs des champs voisins. Bien qu'elle soit répandue dans la nature, la contamination par les moisissures est plus importante dans les cultures céréalières où des plantes comme le maïs et les céréales à petits grains sensibles aux infections par le *Fusarium* sont cultivées en rotation chaque année sur de grandes superficies. La production céréalière intensive tend à accélérer l'évolution de la maladie. Bien que le sol, les graines et

diverses herbes soient aussi des sources d'inoculum, les résidus des récoltes constituent la source principale du *F. graminearum*[6,7,8,9]. Les spores sont disséminées dans l'air ou transportées par des insectes et des oiseaux.

Certaines spores sont déposées directement sur les plantes hôtes. Dans certaines régions de l'Ontario, les carouges à épaulette et les étourneaux endommagent les épis de maïs quand les grains sont au stade laiteux. Les oiseaux déchirent les spathes, percent les grains et en ingèrent le contenu. Par le fait même, ils contribuent à la propagation des infections fongiques, avec le concours des insectes contaminés par les spores des moisissures qui s'attaquent rapidement aux grains endommagés. En août et en septembre, les *Glischrochilus* adultes et les vers infestant les racines sont souvent présents dans les soies et les panicules du maïs, sous les graines folières et sur d'autres parties de la plante. Les dommages causés par les oiseaux et les insectes facilitent l'infection par les moisissures.

La plupart des variétés de blé et de maïs sont sensibles aux infections par les moisissures. Les spores déposées sur les épis de blé germent et croissent initialement sur les anthères, mais la moisissure envahit ultérieurement les épillets, qui prennent alors une couleur jaune paille. Dans des conditions humides, des taches de moisissure roses et blanches apparaissent sur les épis et, plus tard, sur les grains (fig. 1). Les épis de blé sont très sensibles aux infections par le *F. graminearum* pendant la floraison et la phase de la pâte molle. Le degré de résistance pendant les diverses étapes du développement varie selon les cultivars. Certains cultivars sont très sensibles au moment de la floraison alors que d'autres le sont davantage au stade laiteux ou pendant la phase de la pâte molle[10]. Des travaux de recherche plus approfondis seront nécessaires pour que l'on puisse élucider tous les mécanismes qui régissent la résistance des plantes à l'invasion fongique.

Dans le cas du maïs, le *F. graminearum* se développe initialement sur les soies, les anthères et les bractées florales et ultérieurement sur les grains et les épis. Les épis sont le plus sensibles au *F. graminearum* peu de temps après l'émergence des soies. Par la suite, leur sensibilité à la moisissure diminue. En général, des taches de moisissure rougeâtres apparaissent sur les grains (fig. 2). Toutefois, certaines souches du *F. graminearum* ne produisent pas de pigments rougeâtres. Les épis de maïs droits, recouverts d'une pellicule serrée au moment de la récolte semblent plus sensibles à l'infection que les épis dont les spathes lâches tombent avant la moisson[11]. Les plants portant des épis peu développés et des épillets stériles peuvent également être plus sensibles aux moisissures[12].

Pour qu'une épidémie se déclare, des facteurs climatiques favorables à la production et à la dissémination des spores, à la croissance des moisissures sur la plante hôte et à l'infection doivent coïncider avec une période de grande vulnérabilité du blé et du maïs à l'infection. L'apparition de cette dernière est favorisée par la chaleur et une humidité prolongée en surface. Des températures de 15 à 35 °C

et des pluies poussées par le vent ou soulevant des éclaboussures sont propices à la dissémination des spores. Par ailleurs, l'infection par les moisissures est favorisée si les épis de blé et de maïs demeurent mouillés pendant une période prolongée (≥48-60 heures)[9]. Après l'apparition et la propagation initiales de l'infection fongique, le climat n'est plus un facteur déterminant pour la production de toxines par le *F. graminearum*[13].

Une fois les plantes infectées, les moisissures continuent de croître et produisent de plus en plus de mycotoxines. À un certain moment au cours de la saison, la concentration de certaines toxines peut diminuer[13]. Les récoltes tardives en automne peuvent faire augmenter le degré de toxicité en permettant la croissance d'une autre moisissure, le *Fusarium sporotrichioides*, qui produit elle aussi des toxines, à savoir la toxine T-2, la toxine HT-2 et le diacétoxy-scirpénol. Dans ces conditions, le maïs infecté pourra contenir un mélange complexe de toxines provenant d'au moins deux espèces de *Fusarium*. Les temps froids et humides sont propices à la croissance du *F. sporotrichioides*. De mauvaises conditions climatiques peuvent aussi favoriser la croissance d'autres moisissures.

Après la récolte, la croissance des moisissures et la production de mycotoxines peut continuer si le grain n'est pas séché immédiatement ou entreposé dans des conditions appropriées. Par exemple, les moisissures peuvent continuer de croître dans des râteliers à maïs dépourvus de toit ou d'un bon système d'aération, dans des silos pour maïs à grain humide mal scellés ou dans des réservoirs pour maïs séché qui laissent pénétrer la neige poussée par le vent ou qui ne sont pas aérés à intervalles réguliers pour prévenir la condensation. La température optimale pour la croissance des moisissures varie habituellement entre 20 et 30 °C, mais des moisissures peuvent se développer jusqu'à une température de 5 °C. Un degré d'humidité supérieur à 14 % permet la croissance des moisissures à des températures supérieures de 5 à 10 °C. L'infection par les moisissures et la production de mycotoxines peuvent aussi être imputables à la technique de préparation des aliments et au système de distribution de la nourriture, incluant par exemple des mangeoires mal nettoyées.

PRÉVENTION DE LA CONTAMINATION PAR LES MYCOTOXINES

PRODUCTION ET MANIPULATION DU GRAIN

L'efficacité d'un programme visant à réduire la contamination par les mycotoxines repose avant tout sur la prévention. Les mesures suivantes doivent être sérieusement envisagées.

- Éviter les rotations culturales qui favorisent l'infection fongique. Le blé et le maïs sont très sensibles aux infections par le *F. graminearum*. Il n'est donc pas recommandé de planter successivement du maïs, du blé et d'autres céréales à petits grains sur le même champ ou sur des champs voisins. En outre, certaines parties d'un champ peuvent être plus sensibles aux infections fongiques. La succession des cultures doit donc inclure des plantes cultivées qui, à la différence du maïs et de certaines céréales, ne sont pas sensibles aux infections par le *Fusarium*[7,14].
- Changer la culture périodiquement afin de contenir l'infestation par les insectes[7]. Éviter de faire la culture du maïs tous les ans sur le même sol, car cette pratique favorise une intensification de l'infection par les moisissures et la multiplication des insectes qui attaquent les plants de maïs et disséminent les inoculums de moisissures[15].
- Planter tôt. La préparation appropriée du sol permettant une plantation tôt en saison et un désherbage efficace contribue à la réduction des maladies causées par le *Fusarium*[8]. Le désherbage est important puisqu'il permet d'éliminer les plantes hôtes de *Fusarium* étrangères à la culture, par exemple le chiendent et le pied-de-coq[7].
- Planter plusieurs variétés dont les besoins en unités thermiques et les caractéristiques de croissance diffèrent afin de réduire la probabilité d'une contamination généralisée lorsque les conditions environnementales favorisent l'infection de certaines variétés de maïs par le *Fusarium*.
- Choisir les semis pour les rendre de plus en plus vigoureux. L'utilisation de graines de haute qualité traitées aux fongicides peut réduire l'inoculum et produire des semis plus vigoureux. Les grains de blé et de maïs infectés utilisés comme semences peuvent donner naissance à des semis malades. Consulter les spécialistes locaux pour obtenir des recommandations sur les cultures de plein champ[16].
- Épandre de l'engrais à base d'urée plutôt que du nitrate d'ammonium pour réduire l'incidence des infections par le *F. graminearum* dans le blé. Teich[17] a montré qu'on trouvait moins de gale causée par le *F. graminearum* dans le blé fertilisé à l'urée que dans le blé fertilisé avec du nitrate d'ammonium au même taux d'application d'azote (120 kg/ha). Une étude de suivi portant sur les deux mêmes types d'engrais et réalisée sur des champs de blé en avril a donné des résultats semblables. Des travaux comparables ne sont pas encore effectués avec le maïs.
- Éviter les hautes densités de maïs dans les champs, car cela peut nuire à l'aération et à l'exposition au soleil, facteurs qui empêchent l'infection par les moisissures.
- Éviter de nourrir les porcs avec le maïs moisi, si les oiseaux ont causé des dommages excessifs. Les dommages causés par les oiseaux aux épis de maïs facilitent l'invasion par les insectes et les

moisissures[9]. Les oiseaux se posent sur les épis dressés et endommagent les spathes protectrices.

- Éviter de donner aux porcs des épis infectés. Les épis peuvent être endommagés si une verse les met en contact avec le sol. Les grains se trouvant sur des épis infectés peuvent contenir un taux de DON allant de 500 à 1000 mg/kg. À une telle concentration de mycotoxines, un régime alimentaire contenant plus de 1,0 % de grains infectés compromettra le rendement du porc.
- Inspecter soigneusement les champs avant la récolte pour s'assurer de l'absence d'infection par les moisissures, même si aucun signe n'indique que les champs de maïs ont subi des dommages causés par une verse, des oiseaux ou des insectes. Se promener dans les champs et enlever les spathes sur quelques épis pour voir s'il y a des moisissures. Si possible, moissonner et entreposer séparément le grain moins affecté et le grain plus sérieusement infecté.
- Ajuster la moissonneuse-batteuse (grilles et hotte de nettoyage) afin de réduire le plus possible la quantité de fines, de grains et d'épillets moisis ou brisés dans les produits de récolte. Les dommages causés par les appareils à la pellicule extérieure du grain peuvent faciliter l'infection par les moisissures.
- Nettoyer le maïs récolté avec des cribles, avant le séchage et l'entreposage, pour retirer une partie de la matière infectée[8].
- Récolter aussitôt que possible afin d'éviter d'exposer inutilement les plantes à des conditions climatiques automnales propices à la croissance des moisissures et à la production de mycotoxines. Si la moisson de maïs est trop retardée, surtout quand les conditions climatiques sont défavorables, on favorise ainsi l'infection par les moisissures et la production des mycotoxines. Cette situation se présente plus fréquemment avec les hybrides qui mûrissent tard.
- Réduire les inoculums de *Fusarium*. Il est important de labourer les débris des récoltes le plus tôt possible après la moisson pour combattre le risque de transmission de l'infection aux cultures de l'année suivante[7]. La présence des débris permet aux insectes comme la pyrale du maïs de survivre à l'hiver et d'endommager la récolte de l'année suivante. Le labour enterre les débris porteurs d'inoculums qui sont alors dégradés par les micro-organismes, ce qui permet de réduire la dissémination des inoculums[14]. Cependant pour plus de sûreté, il vaut mieux enterrer tous les débris.
- Éviter de laisser les cultures dans les champs l'hiver. On a constaté dans certains cas que cette pratique favorisait beaucoup la production de mycotoxines.
- Entreposer sans le moindre retard le maïs fraîchement récolté. Les moisissures peuvent croître dans du maïs fraîchement récolté à moins que ce dernier ne soit rapidement séché, ce qui réduit le degré d'humidité ($\leq$ 13 à 15 %), puis refroidi par ventilation. La teneur en eau du grain peut constituer l'un des principaux facteurs de croissance des moisissures. Si on n'obtient pas ce

degré d'humidité dans un silo scellé, il faut ajouter rapidement du maïs fraîchement récolté pour empêcher la croissance des moisissures.

- Utiliser les inhibiteurs de croissance des moisissures, par exemple le propionate[18], pour réduire la croissance des moisissures dans les aliments entreposés. Cependant, leur utilisation est superflue si le grain a été séché et entreposé de façon appropriée. L'entreposage correct ne réduira pas le niveau des mycotoxines dans le grain, mais empêchera les infections par les moisissures et l'accumulation des toxines.
- Mettre des toits aux râteliers à maïs. La récolte peut être ainsi effectuée plus tôt ce qui permet de réduire l'exposition aux mycotoxines qui sont produites continuellement quand les plantes sont encore dans les champs tard en automne dans de mauvaises conditions climatiques. Entreposer le maïs en utilisant un râtelier exige beaucoup de soins. Le séchage plus lent pourrait faciliter la croissance des moisissures et la production des mycotoxines. Le toit du râtelier protège de la pluie le maïs entreposé.
- Éviter d'utiliser des épis moisis. Dans les épis de maïs très infecté, la contamination par les toxines peut être plus élevée dans l'épi que dans la graine. Le mélange de farine d'épi dans les rations n'est pas recommandé si on craint une contamination par les mycotoxines (K. Hough et P. Benoît, communication personnelle, 1988)[19].

Les mesures préventives décrites ci-dessus fournissent aux producteurs une méthode efficace pour réduire le plus possible la contamination par les moisissures. L'élimination complète des infections par les moisissures et de la contamination par les mycotoxines ne sera possible que lorsque des recherches intensives auront permis de mettre au point des variétés résistantes.

MOUTURE ET PRÉPARATION DES ALIMENTS POUR ANIMAUX

Tout bon programme de prévention applicable aux minoteries se fonde sur les trois éléments clés suivants: le contrôle de la qualité, la bonne pratique de meunerie et l'utilisation d'agents chimiques de conservation.

Contrôle de la qualité

L'adoption d'un programme efficace de contrôle de la qualité du grain reçu et l'utilisation de bonnes techniques de meunerie jouent un rôle considérable dans la prévention de la contamination par les mycotoxines. Il est nécessaire d'examiner soigneusement les grains afin d'éliminer ceux qui sont moisis ou brisés ou qui ont été endommagés par les insectes. Aux États-Unis, on a utilisé la lumière

ultraviolette pour évaluer grossièrement la contamination par l'aflatoxine. Cependant, cette méthode n'est pas très efficace pour mesurer l'étendue de la contamination par le *Fusarium*. Le balayage du maïs (et non du blé) que l'on soupçonne d'être contaminé, au moyen d'une lumière ultraviolette pour déceler la fluorescence, peut être utile dans les pays où la contamination par l'aflatoxine est importante, maïs au Canada, ce procédé n'a d'utilité que pour le maïs importé. Pour s'assurer qu'un séchage approprié a été effectué, il est nécessaire de prélever un échantillon représentatif et de déterminer la teneur en eau des grains.

On travaille actuellement à la mise au point de méthodes de détection simples et rapides des mycotoxines qui constituent une source de préoccupation particulière dans l'est du Canada. Cependant, le dosage de certaines mycotoxines particulières ne nous donne pas une image complète de la situation, car les moisissures peuvent produire plusieurs toxines. Les dosages biologiques rapides, par exemple le test sur embryon de poulet[20] et le test sur cellules Hela[21], sont plus prometteurs que les méthodes chimiques parce que l'évaluation ne porte pas sur une toxine en particulier (ou des toxines) et donne un indice plus général de la toxicité potentielle du grain.

Lorsqu'on soupçonne une contamination par les moisissures, il faut nettoyer soigneusement les grains à l'aide de cribles et de ventilateurs qui permettent d'éliminer les particules de matière moisie et les poussières, une partie des petits grains moisis et des morceaux d'épis brisés. Les extrémités d'épis moisies peuvent être fortement contaminées par les mycotoxines.

Bonne pratique de meunerie

Une bonne pratique de meunerie comprend les points suivants:

- Nettoyer les réservoirs à aliments et les véhicules de livraison après les avoir vidés et avant de les remplir.
- Garder l'équipement de mouture propre et en état de marche.
- Prévenir l'entrée des insectes et des rongeurs dans les installations de stockage.
- Éliminer les sources de contamination par les moisissures dans les installations de stockage du grain.
- Aérer régulièrement le grain entreposé.

Agents chimique de conservation

Les agents chimiques de conservation sont utilisés pour prévenir toute activité des moisissures et prolonger la durée de conservation des grains entreposés et des aliments pour animaux. Les sels et les inhibiteurs de type acide, par exemple l'acide benzoïque, l'acide sorbique, l'acide acétique et l'acide propionique sont couramment utilisés. Certaines préparations peuvent stimuler la consommation alimentaire chez les animaux et prévenir la croissance des



Figure 1 En haut, grains de blé non contaminés. En bas, grains de blé contenant 7 mg de DON/kg. À noter, la couleur rose bourgogne sur les grains de blé contaminés.



Figure 2 Cet épis de maïs a été naturellement infecté par des «moisissures roses». Les concentrations de DON dans les grains infectés peuvent atteindre de 500 à 1000 mg/kg (ppm).



Figure 3 Le porc est très sensible aux mycotoxines. Les porcs présentés ici sont de la même portée: celui qui se trouve à l'arrière-plan a été nourri avec des aliments non contaminés et celui qui se trouve à l'avant-plan a reçu des aliments contenant 5 mg de DON/kg pendant 7 semaines après le sevrage. À noter chez ce dernier, le poil blanc, semblable à celui du rat, et l'apparence plus chétive.

moisissures[18]. Cependant, les inhibiteurs de moisissures n'entraînent pas une détoxication des aliments contaminés par les mycotoxines[22].

MÉLANGES COMPLEXES DE MYCOTOXINES DANS LES GRAINS MOISIS

Des données récentes ont confirmé certaines hypothèses selon lesquelles les réactions défavorables observées chez les animaux de ferme nourris avec des grains moisis n'étaient pas dues à des mycotoxines particulières agissant seules, mais plutôt à la combinaison de toxines et d'autres métabolites fongiques[23]. Les espèces du genre *Fusarium* produisent de nombreux métabolites qui sont toxiques chez les animaux. Dans des conditions normales, au champ et en entrepôt, un grand nombre d'espèces de moisissures peuvent croître et produire des toxines. La situation se complique quand des grains provenant de diverses sources et contenant différentes mycotoxines sont mélangés pour la préparation d'aliments destinés aux animaux. Il est bien connu que le DON est moins toxique que d'autres mycotoxines apparentées, comme la toxine T-2 et la toxine HT-2. Cependant, une faible concentration de DON dans les aliments, ex. 1 mg/kg (ppm), peut provoquer des réactions graves chez les espèces sensibles comme le porc (fig. 3) si elles s'ajoutent à de très faibles concentrations, ex. µg/kg(ppb) de toxines T-2 ou HT-2 ou d'autres toxines de composition inconnue[2].

DÉTOXICATION

La mise au point d'une formule magique permettant la détoxication du grain contaminé par les mycotoxines est bien sûr souhaitable, mais peu probable. En effet, un procédé physique ou chimique efficace contre une ou quelques toxines peut se révéler presque inactif contre d'autres toxines. Par conséquent, un programme de gestion des mycotoxines doit viser principalement à prévenir l'infection par les moisissures et la production de mycotoxines durant toutes les étapes de production, d'entreposage, de mouture et de livraison.

Récolte et mouture

Dans les céréales naturellement infectées, les grains contaminés par les moisissures et les mycotoxines peuvent représenter moins de 1 à 5 % du volume total. Les grains peuvent être brisés ou desséchés. Les grains de blé prennent parfois la forme de «pierres tombales».

Dans le cas du maïs, les extrémités des épis contenant des grains moisis ou desséchés peuvent être fortement contaminés. La poussière de grain peut aussi contenir de fortes concentrations de mycotoxines. Pendant la récolte et la mouture, il est nécessaire de recourir au criblage et à la ventilation pour éliminer les morceaux d'épis de maïs et les petites particules, ainsi que les grains desséchés et infectés. Les grains infectés par les moisissures peuvent contenir jusqu'à 500-1000 mg de DON/kg. **Les opérateurs doivent porter des masques antipoussières, des combinaisons de travail et des gants** (voir la section intitulée «Lignes directrices pour la manipulation...»).

En 1981, des études ont révélé que l'extraction par voie humide du maïs éliminait environ les deux tiers de la toxine T-2[24]. Des études plus récentes[25,26] ont montré que la mouture avait peu d'effet sur les concentrations de DON dans le blé vitreux de printemps étant donné que le DON se retrouvait dans tous les produits de mouture. La transformation de la farine en pain ne réduisait pas non plus les concentrations de DON[25,27]. D'autres travaux effectués sur du blé blanc d'hiver de type tendre provenant de l'Ontario, qui était naturellement contaminé et contenait de 0,6 à 1,0 mg de DON/kg, ont montré que l'infection fongique était maximale à la surface des grains ou près de la surface[28]. Les concentrations de DON étaient maximales dans les couches extérieures du grain (ex. le son) et diminuaient dans les parties internes contenant la farine. Dans le cas du blé naturellement contaminé renfermant de fortes concentrations de DON (5 mg/kg), les mycotoxines se retrouvaient à peu près également dans les diverses fractions issues de la mouture[26]. Au cours d'une autre étude, deux types de blé vitreux de printemps (contenant respectivement 1,4 et 7,5 mg de DON/kg) ont été soumis à un nettoyage, à un mouillage et à la mouture[29]. La concentration de DON dans les remoulages et la farine à bétail avait doublépar rapport à la concentration de départ. On a également observé une légère augmentation de la concentration de DON dans le son du premier échantillon de blé.

Si l'infection par les moisissures n'est pas trop grave, des traitements physiques et chimiques permettant de nettoyer la surface du grain et d'éliminer les particules de matière fortement infectées, par exemple par lavage et par grillage, peuvent réduire de manière sensible les concentrations de toxines dans le grain contaminé. Cependant, la mise au point de ces procédés nécessite encore beaucoup de travail.

Traitement chimique

En laboratoire, on a réduit les concentrations de DON dans le grain moisi par des traitements à l'ozone humide, à l'ammoniac et à la chaleur (micro-ondes et convection)[30]. L'élimination complète du DON a été obtenue après l'addition d'une solution aqueuse de bisulfite

de sodium et l'application de chaleur en autoclave ou par micro-ondes. L'addition de carbonate d'ammonium à des granulés fabriqués à la vapeur et destinés à l'alimentation du porc et contenant du blé contaminé n'a amélioré ni la consommation alimentaire ni le croît[31].

En ajoutant à un régime alimentaire du maïs contaminé de façon à obtenir une concentration de 7,2 mg de DON/kg, on a observé une réduction de la consommation alimentaire et du croît chez le porc. Cependant, quand la même quantité de maïs contaminé a été traitée au bisulfite de sodium et autoclavée, la concentration de DON a diminué par un facteur de 10; la consommation alimentaire et le croît chez le groupe expérimental sont devenus comparables aux niveaux observés dans le groupe témoin[32].

Addition d'agents liants

La luzerne pourrait avoir un effet bénéfique sur les régimes contaminés à la zéaralénone. Les fibres contenues dans la luzerne ont en partie compensé l'inhibition de la croissance causée par la zéaralénone chez des rats[33]. Cependant, des concentrations de 0 à 25 % de luzerne n'ont pas compensé les effets estrogènes d'un régime contenant de 10 à 40 mg de zéaralénone/kg chez des cochettes du Yorkshire pesant de 8 à 11 kg[34].

L'addition de bentonite, de résines anioniques et cationiques et de vermiculite-hydrobiotite à un régime contenant la toxine T-2 a aussi été testée chez les rats Wistar[35]. Une concentration de bentonite de 10 % constituait le traitement le plus efficace pour surmonter les effets de la toxine sur la consommation alimentaire et le croît. La présence de bentonite dans les aliments semblait prévenir la toxicose causée par la toxine T-2 en réduisant l'absorption intestinale et en augmentant l'excrétion fécale de la toxine. Des argiles décolorantes à base d'huile de canola usagée se sont également révélées efficaces pour combattre les effets défavorables de la toxine T-2 sur la consommation alimentaire et le croît chez les rats[36].

Une autre étude a évalué l'action d'un agent liant chimique, le polyvinyle-pyrrolidone alimentaire (Antitox Vana®), et du carbonate d'ammonium sur les effets défavorables du DON chez les porcs Yorkshire[31]. L'addition de ces produits chimiques n'a pas diminué la toxicité du DON chez le porc.

Mélange d'aliments et densité du régime alimentaire

Le porc est très sensible aux toxines du *Fusarium* comme le DON et la zéaralénone. Si l'on soupçonne une contamination des aliments par les mycotoxines, il faut tester pendant 2 semaines ces aliments avec six cochettes sevrées que l'on comparera à un groupe témoin de cochettes recevant des aliments dépourvus de mycotoxines. Si la consommation alimentaire des cochettes recevant des céréales contaminées est plus faible que celle du groupe témoin, il faut

envisager la possibilité d'une contamination au DON ou à une trichothécène apparentée. La dilution des aliments à l'aide de grains non contaminés peut améliorer la consommation alimentaire et le croît. L'augmentation de la densité du régime alimentaire (supplément de calories, de protéines brutes, de minéraux et de vitamines de 20 %[37]) peut améliorer le croît si la consommation alimentaire n'est réduite que de 15 à 20 %. Si, chez les cochettes non prépubères, la vulve semble enflée et rouge, n'offrez pas ces aliments aux femelles en parturition à moins qu'ils aient été dilués. Habituellement, la zéaralénone n'affecte pas la consommation alimentaire du porc.

Des études récentes indiquent que l'immunisation pourrait aider à prévenir la mycotoxicose causée par la zéaralénone chez le porc en induisant la production d'anticorps contre cette toxine[39].

RÉSIDUS DE MYCOTOXINES DANS LES PRODUITS ALIMENTAIRES D'ORIGINE ANIMALE

Des données indiquent que le porc est très sensible au DON et à la zéaralénone, alors que les ruminants et la volaille semblent être plus tolérants[39]. Cette observation générale ne s'applique pas nécessairement aux animaux jeunes ou stressés. Des données récentes suggèrent que des concentrations peu élevées des mycotoxines du *Fusarium* dans les rations des vaches laitières peuvent être liées à une diminution de la production du lait[40].

Si on donne des aliments contaminés aux espèces plus tolérantes, il faut envisager la question de l'innocuité des produits alimentaires d'origine animale contenant des résidus toxiques. Chez des vaches laitières, un régime alimentaire ayant une concentration de DON de 66 mg/kg pendant 5 jours a entraîné l'apparition d'infimes concentrations de la toxine dans le lait (de l'ordre de quelques µg/kg ou ppb). Chez les ruminants, même des doses uniques très élevées de la toxine (de l'ordre du gramme, par animal) n'ont produit que des concentrations de résidus à l'état de traces dans le lait, si faibles qu'en pratique on peut les considérer comme négligeables[41]. Chez la volaille, malgré l'absence de quantités mesurables de résidus dans les tissus de sujets ayant reçu une concentration de DON de 20 mg/kg pendant 12 jours, on a constaté une accumulation de la toxine dans les oeufs. Cependant, le DON est rapidement disparu chez la volaille lorsque la source de contamination a été éliminée[42]. Les concentrations de résidus ont diminué rapidement au cours des jours suivants lorsque les sujets ont recommencé à consommer des aliments non contaminés[43]. En conclusion, rien n'indique jusqu'ici que la présence du DON dans les produits alimentaires d'origine animale soit une source de préoccupation urgente. D'autres travaux devront être effectués afin d'évaluer l'innocuité de la zéaralénone et des autres

résidus de mycotoxines se trouvant dans les produits alimentaires d'origine animale.

LIGNES DIRECTRICES POUR LA MANIPULATION DES GRAINS MOISIS

Les moisissures et les mycotoxines qu'elles sécrètent constituent un danger pour la santé. La toxicité des mycotoxines produites par les moisissures du genre *Fusarium* peut se traduire par des allergies, une irritation cutanée, de l'inappétence, des maux de tête, des vomissements, des troubles gastro-intestinaux, des hémorragies, une vulnérabilité plus grande à la maladie et des troubles de la reproduction[1]. Il est certain que l'inhalation de poussière de grains contaminés par le *Fusarium* est dangereuse et doit être évitée, particulièrement à l'intérieur. L'inhalation des spores et des toxines produites par l'*Aspergillus* constitue un danger professionnel reconnu chez les producteurs et les transformateurs de maïs et d'arachides aux États-Unis. Une grande variété de symptômes peuvent apparaître après l'inhalation de la poussière de plantes contaminées par des moisissures productrices de mycotoxines; une exposition excessive peut provoquer une grave intoxication et même la mort[44]. Un examen médical périodique est recommandé pour le personnel qui manipule régulièrement du grain moisi.

Les personnes qui manipulent le grain moisi se doivent donc de connaître les dangers pour la santé liés à la contamination par les moisissures et les mycotoxines. Elles doivent en outre utiliser les moyens appropriés pour prévenir l'exposition au grain moisi et réduire le plus possible la contamination des installations, de l'équipement et du personnel. Des précautions élémentaires doivent être prises pour limiter la contamination par les mycotoxines, que ce soit par voie orale, cutanée ou respiratoire. On doit établir une procédure pour la manipulation et l'élimination des matières infectées. Après le criblage de poussières, d'autres petites particules et de fragments d'épis provenant de récoltes contaminées, s'assurer d'enterrer la criblure dans une région isolée, située loin des champs cultivés, afin de réduire le plus possible l'exposition que pourraient subir ultérieurement les animaux de ferme et de prévenir l'ingestion accidentelle de ces produits par les animaux.

Il faut prendre toutes les mesures de sécurité nécessaires pour prévenir les blessures et les pertes de vie avant d'entrer dans tout endroit où on entrepose du grain.

Les lignes directrices suivantes ont été établies pour les producteurs de céréales et les éleveurs afin qu'ils puissent manipuler sans danger le grain contaminé par les moisissures et les mycotoxines se trouvant dans les aliments pour animaux.

RECOMMANDATIONS AUX PRODUCTEURS DE GRAINS ET D'ANIMAUX

Examen des épis moisis dans les champs

DANGER: *Les mycotoxines se trouvant dans les grains infectés peuvent provoquer une irritation cutanée grave.*

RECOMMANDATIONS:

- Utiliser des gants protecteurs lors de la manipulation des matières infectées.
- Ne pas toucher les grains infectés.
- Se laver les mains soigneusement à l'eau et au savon après avoir manipulé le grain moisi.

Récolte, séchage, broyage, mélange et transport de grains d'aliments moisis pour animaux

DANGER: *L'inhalation de spores et de poussières contenant des mycotoxines peut provoquer des réactions allergiques, l'irritation des voies respiratoires et une intoxication.*

RECOMMANDATIONS:

- Utiliser un masque protecteur pour prévenir l'inhalation de poussière de grain moisi.
- Augmenter la teneur en gras des régimes alimentaires pour animaux afin de réduire la formation de poussière dans les bâtiments d'élevage.
- Ne pas se placer dans le sillage de la poussière produite par les machines agricoles.

DANGER: *Irritation cutanée et oculaire.*

RECOMMANDATIONS:

- Utiliser des vêtements protecteurs propres (et des lunettes protectrices dans les régions très poussiéreuses).
- Prendre une douche afin d'éliminer la poussière contenant des moisissures qui s'est déposée sur les parties exposées du corps.
- Ne pas placer dans le sillage de la poussière produite par les machines agricoles.
- Changer fréquemment les filtres à air des moissonneuses-batteuses qui comportent une cabine munie d'un système de filtration d'air pour les opérateurs.

DANGER: • *Ingestion de spores et de poussières contenant des mycotoxines.*

RECOMMANDATIONS:

- Retirer les vêtements de travail avant de manger.
- Se laver les mains, le visage et les autres parties exposées du corps avant de manger.
- Manger dans un lieu qui n'est pas exposé au grain moisi.

Fréquentation de lieux où des produits céréaliers sont entreposés

DANGER: *L'inhalation de spores et de poussière contenant des mycotoxines peut provoquer des réactions allergiques, l'irritation des voies respiratoires et une intoxication.*

RECOMMANDATIONS:

- Utiliser un masque protecteur pour prévenir l'inhalation de poussière de grain moisi.
- Il faut faire très attention lorsqu'on entre dans une cellule à grains contaminés par des moisissures. La cellule doit être bien aérée. Prévenir l'exposition à la poussière en utilisant des vêtements protecteurs, des masques filtrants ou d'autres dispositifs permettant de respirer de l'air filtré ou de l'air frais. Ne jamais travailler seul dans une cellule à grains.

DANGER: *Les spores et les poussières contenant des mycotoxines peuvent causer des irritations cutanées ou oculaires.*

RECOMMANDATIONS:

- Utiliser des vêtements protecteurs propres (et des lunettes protectrices dans les régions très poussiéreuses).
- Prendre une douche afin d'éliminer la poussière contenant des moisissures qui s'est déposée sur les parties exposées du corps.
- Ne pas se placer dans le sillage de la poussière produite par les machines agricoles.

DANGER: *Ingestion de spores et de poussières contenant des mycotoxines.*

RECOMMANDATIONS:

- Retirer les vêtements de travail avant de manger.
- Se laver les mains, le visage et les autres parties exposées du corps avant de manger.
- Manger dans un lieu qui n'est pas exposé au grain moisi.

BIBLIOGRAPHIE

1. Scott, P.M.; Trenholm, H.L.; Sutton, M.D. 1985. Mycotoxins: A Canadian perspective. National Research Council of Canada, Ottawa, Ont. Publ. No. 22848, 185 pp.

2. Foster, B.C.; Trenholm, H.L.; Friend, D.W.; Thompson, B.K.; Hartin, K.E. 1986. Evaluation of different sources of deoxynivalenol (vomitoxin) fed to swine. Can. J. Anim. Sci. 66:1149–1154.

3. Trenholm, H.L.; Thompson, B.K.; Standish, J.F.; Seamen, W.L. 1985. Mycotoxins in feeds and feedstuffs. Pages 43–49 *in* Mycotoxins: A Canadian perspective. Scott, P.M.; Trenholm, H.L.; Sutton, M.D., Eds. National Research Council of Canada, Ottawa, Ont. Publ. No. 22848.

4. Hudon, M.; Foott, W.H.; Martel, P. 1985. Insectes nuisibles au maïs dans l'est du Canada. Agriculture Canada, Ottawa, Ont. Publ. No. 1788F, 29 pp.

5. Hudon, M.; McLeod, D.G.R.; Foott, W.H. 1982. Répression de la pyrale du maïs. Agriculture Canada, Ottawa, Ont. Publ. No. 1738F, 13 pp.

6. Hunter, R.B.; Sutton, J.C. 1985. Plant resistance and environmental conditions. Pages 62–67 *in* Mycotoxins: A Canadian perspective. Scott, P.M.; Trenholm, H.L.; Sutton, M.D., Eds. National Research Council of Canada, Ottawa, Ont. Publ. No. 22848.

7. Martin, R.A.; Johnson, H.W. 1982. Effects and control of *Fusarium* diseases of cereal grains in the Atlantic Provinces. Can. J. Plant Pathol. 4:210–216.

8. Seamon, W.L. 1982. Epidemiology and control of mycotoxigenic *Fusaria* on cereal grains. Can. J. Plant Pathol. 4:187–190.

9. Sutton, J.C. 1982. Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. Can. J. Plant Pathol. 4:195–209.

10. Schroeder, H.W.; Christensen, J.J. 1963. Factors affecting resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. Phytopathology 53:831–838.

11. Enerson, P.M.; Hunter, R.B. 1980. Response of maize hybrids to artificially inoculated ear mold incited by *Gibberella zeae*. Can. J. Plant Sci. 60:1463–1465.

12. Wimmer, J. 1978. Das Auftreten von Kolbenfusariosen beim Mais. Pages 78–93 *in* Veroeffentlichungen der Landwirtschaftlich-chemischen Bundesversuchsanstalt. Linz/Donau, Band Nr. 11.

13. Miller, J.D.; Young, J.C.; Trenholm, H.L. 1983. *Fusarium* toxins in field corn. I. Time course of fungal growth and production of deoxynivalenol and other mycotoxins. Can. J. Bot. 61:3080–3087.

14. Teich, A.H.; Hamilton, J.R. 1985. Effect of cultural practices, soil phosphorus, potassium, and pH on the incidence of *Fusarium* head blight and deoxynivalenol levels in wheat. Appl. Environ. Microbiol. 49:1429–1431.

15. Abramson, D.; Mills, J.T. 1985. Mycotoxin production during storage. Pages 69–79 *in* Mycotoxins: A Canadian perspective. Scott, P.M.; Trenholm, H.L.; Sutton, M.D., Eds. National Research Council of Canada, Ottawa, Ont. Publ. No. 22848.

16. Ministère d'agriculture et alimentation d'Ontario. 1988. Recommandations pour la grande culture. Toronto, Ont. Publ. No. 296, 85 pp.

17. Teich, A.H. 1987. Less wheat scab with urea than with ammonium nitrate fertilizers. Cereal Research Comm. 15:35–38.

18. Foster, B.C.; Trenholm, H.L.; Friend, D.W.; Thompson, B.K.; Hartin, K.E. 1987. The effect of a propionate feed preservative in deoxynivalenol (vomitoxin) containing corn diets fed to swine. Can. J. Anim. Sci. 67:1159–1163.

19. Hamilton, R.M.G.; Trenholm, H.L. 1988. Distribution of deoxynivalenol and zearalenone between the kernels and the cob in ears of *Fusarium graminearum* inoculated and naturally infected corn. Microbiologie–Aliments–Nutrition 5:313–316.

20. Prelusky, D.B.; Hamilton, R.M.G.; Foster, B.C.; Trenholm, H.L.; Thompson, B.K. 1987. Optimization of chick embryotoxicity bioassay for testing toxicity potential of fungal metabolites. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 70:1049–1055.

21. Lompe, A.; Milczewski, K.E.V. 1979. Ein Zellkulturtest fuer den Nachweis von Mykotoxinen. Z. Lebensm. Unters. Forsch. 169:249–254.

22. Botts, R. 1979. Mold in feeds: Problems and prevention. Feed Management 30:24–26.

23. Foster, B.C.; Neish, G.A.; Lauren, D.R.; Trenholm, H.L.; Prelusky, D.B.; Hamilton, R.M.G. 1986. Fungal and mycotoxin content of slashed corn. Microbiol. Alim. Nutr. 4:199–203.

24. Collins, C.J.; Rosen, J.D. 1981. Distribution of T-2 toxin in wet-milled corn products. J. Food Sci. 46:877–879.

25. Scott, P.M.; Kanhere, S.R.; Lau, P.-Y.; Dexter, J.E.; Greenhalgh, R. 1983. Effects of experimental flour milling and breadbaking on retention of deoxynivalenol (vomitoxin) in hard red spring wheat. Cereal Chem. 60:421–424.

26. Hart, L.P.; Braselton, W.E., Jr. 1983. Distribution of vomitoxin in dry milled fractions of wheat infected with *Gibberella zeae*. J. Agric. Food Chem. 31:657–659.

27. El-Banna, A.A.; Lau, P.-Y.; Scott, P.M. 1983. Fate of mycotoxins during processing of food stuffs. II. Deoxynivalenol (vomitoxin) during making of Egyptian bread. J. Food Protect. 46:484–486.

28. Young, J.C.; Fulcher, R.G.; Hayhoe, J.H.; Scott, P.M.; Dexter, J.E. 1984. Effect of milling and baking on deoxynivalenol (vomitoxin) content of eastern Canadian wheats. J. Agric. Food Chem. 32:659–664.

29. Scott, P.M.; Kanhere, S.R.; Dexter, J.E.; Brennan, P.W.; Trenholm, H.L. 1984. Distribution of the trichothecene mycotoxin deoxynivalenol (vomitoxin) during the milling of naturally contaminated hard red spring wheat and its fate in baked products. Food Additives Contamin. 1:313–323.

30. Young, J.C.; Sabryan, L.M.; Potts, D.; McLaren, M.E.; Gobran, F.H. 1986. Reduction in levels of deoxynivalenol in contaminated wheat by chemical and physical treatment. J. Agric. Food Chem. 34:461–465.

31. Friend, D.W.; Trenholm, H.L.; Young, J.C.; Thompson, B.K.; Hartin, K.E. 1984. Effect of adding potential vomitoxin (deoxynivalenol) detoxicants or a *F. graminearum* inoculated corn supplement to wheat diets fed to pigs. Can. J. Anim. Sci. 64:733–741.

32. Young, J.C.; Trenholm, H.L.; Friend, D.W.; Prelusky, D.B. 1987. Detoxification of deoxynivalenol with sodium bisulfite and evaluation of the effects when pure mycotoxin or contaminated corn was treated and given to pigs. J. Agric. Food Chem. 35:259–261.

33. Stangroom, K.E.; Smith, T.K. 1984. Effect of whole and fractionated dietary alfalfa meal on zearalenone toxicosis and metabolism in rats and swine. Can. J. Physiol. Pharmacol. 62:1219–1224.

34. James, L.J.; Smith, T.K. 1982. Effect of dietary alfalfa on zearalenone toxicity and metabolism in rats and swine. J. Anim. Sci. 55:110–118.

35. Carson, M.S.; Smith, T.K. 1983. Role of bentonite in prevention of T-2 toxicosis in rats. J. Anim. Sci. 57:1498–1506.

36. Smith, T.K. 1984. Spent canola oil bleaching clays: Potential for treatment of T-2 toxicosis in rats and short-term inclusion in diets for immature swine. Can. J. Anim. Sci. 64:725–732.

37. Chavez, R.R.; Rheaume, J.A. 1986. The significance of the reduced feed consumption observed in growing pigs fed vomitoxin-contaminated diets. Can. J. Anim. Sci. 66:277–287.

38. Pestka, J.J.; Lin, M.T.; Knudson, B.K.; Hogberg, M.G. 1985. Immunization of swine for production of antibody against zearalenone. J. Food Protect. 48:953–957.

39. Trenholm, H.L.; Hamilton, R.M.G.; Friend, D.W.; Thompson, B.K.; Hartin, K.E. 1984. Feeding trials with vomitoxin (deoxynivalenol) contaminated wheat: Effect of swine, poultry, and dairy cattle. J. Am. Vet. Med. Assoc. 185:527–531.

40. Whitlow, L.W; Hagler, Jr., W.M. 1987. The association of productivity losses in dairy cows with deoxynivalenol. Pages E1–E3 *in* Proceedings of Symposium: Recent Developments in the Study of Mycotoxins, Rosemont, Illinois, Dec 17, 1987.

41. Prelusky, D.B.; Trenholm, H.L.; Lawrence, G.A.; Scott, P.M. 1984. Non-transmission of deoxynivalenol (vomitoxin) to milk following oral administration of dairy cows. J. Environ. Sci. Health B 19:593–609.

42. Prelusky, D.B.; Hamilton, R.M.G.; Trenholm, H.L.; Miller, J.D. 1986. Tissue distribution and excretion of radioactivity following administration of ^{14}C-labeled deoxynivalenol to White Leghorn hens. Fundam. Appl. Toxicol. 7:635–645.

43. Prelusky, D.B.; Trenholm, H.L.; Hamilton, R.M.G.; Miller, J.D. 1987. Transmission of ^{14}C deoxynivalenol to eggs following oral administration to laying hens. J. Agric. Food Chem. 35:182–186.

44. Tobin, R.S.; Baranoski, E.; Gilman, A.P.; Kuiper-Goodman, T.; Miller, J.D. 1987. Significance of fungi in indoor air. Can. J. Public Health 78:S1–S32.